

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number : 03-134632

(43) Date of publication of application : 07. 06. 1991

(51) Int. Cl.

G02F 1/35

G02B 6/16

H01S 3/06

H01S 3/17

(21) Application number : 01-272895

(71) Applicant : NEC CORP

(22) Date of filing : 20. 10. 1989

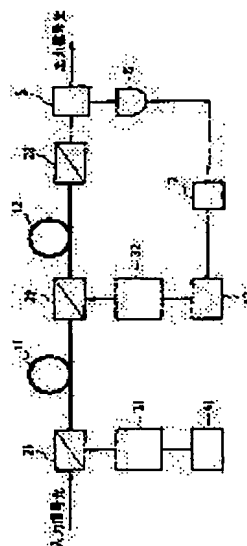
(72) Inventor : AOKI YASUHIRO

## (54) OPTICAL FIBER AMPLIFYING METHOD AND OPTICAL FIBER AMPLIFIER

## (57) Abstract:

PURPOSE: To extend the gain control range by cascading two or more rare earth element-added optical fibers and setting one optical fiber to the low exciting state to operate it for gain control for the purpose of sufficiently exciting the other to obtain a high gain.

CONSTITUTION: Signal light is synthesized with exciting light from an exciting light source 31 of an InGaAsP/InP semiconductor laser by an optical fiber coupler 21 and is made incident on an Er-added optical fiber 11. The signal light amplified in the fiber 11 is synthesized with exciting light from an exciting light source 32 by an optical fiber coupler 22 and is inputted to an Er-added optical fiber 12 and is branched from the exciting light by an optical fiber coupler 23 and is outputted. About 10% of the output signal light is branched by a single mode optical fiber coupler 5 and is received by a photodiode 6. A control circuit 7 increases or reduces the current of a driving power source 42 in accordance with the output of the diode 6 to control the exciting light power from a semiconductor laser 32. By this constitution, an Er-added optical fiber amplifier having a wide gain control range is realized.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of

rejection or application converted  
registration]  
[Date of final disposal for application]  
[Patent number]  
[Date of registration]  
[Number of appeal against examiner's  
decision of rejection]  
[Date of requesting appeal against  
examiner's decision of rejection]  
[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998, 2003 Japan Patent Office

## ⑫ 公開特許公報(A)

平3-134632

⑬ Int. Cl.<sup>9</sup>

G 02 F 1/35  
G 02 B 6/16  
H 01 S 3/06  
3/17

識別記号

5 0 1

庁内整理番号

7348-2H  
7036-2H  
7630-5F  
7630-5F

⑭ 公開 平成3年(1991)6月7日

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全4頁)

⑮ 発明の名称 光ファイバ増幅方法および光ファイバ増幅器

⑯ 特 願 平1-272895

⑰ 出 願 平1(1989)10月20日

⑱ 発 明 者 青 木 恭 弘 東京都港区芝5丁目33番1号 日本電気株式会社内

⑲ 出 願 人 日本電気株式会社 東京都港区芝5丁目7番1号

⑳ 代 理 人 弁理士 内 原 晋

## 明 細 書

## 発明の名称

光ファイバ増幅方法および光ファイバ増幅器

## 特許請求の範囲

(1) 光学的に縦続接続された2本以上の希土類添加光ファイバのそれぞれに励起光を入射し信号光を増幅する光ファイバ増幅方法であって、前記励起光のうちの少なくとも1つは前記希土類添加光ファイバの増幅利得が励起光パワーにはほぼ比例する領域の光出力パワーとすることを特徴とする光ファイバ増幅方法。

(2) 光学的に縦続接続された2本以上の希土類添加光ファイバと、複数個の励起光源と、前記励起光源から出力される励起光を前記希土類添加光ファイバにそれぞれ入射させるための光合波手段と、増幅された信号光の一部を検出するための光検出器と、前記光検出器の出力に対応して前記複数個の励起光源の少なくともひとつの励起光源の出力を

制御するための制御手段とを含むことを特徴とする光ファイバ増幅器。

## 発明の詳細な説明

## (産業上の利用分野)

本発明は希土類添加光ファイバ中で信号光を光増幅する光ファイバ増幅器に関する。

## (従来の技術)

近年、光通信用中継器の小形化・経済化、あるいは光分岐による損失の補償などを目的として、信号光を光電変換することなく増幅する光増幅器に関する研究が活発に行なわれている。光増幅方式としては、これまでに①半導体レーザ媒質を用いるもの、②コア部にEr等の希土類元素を添加した光ファイバを用いるもの、③光ファイバの誘導ラマン散乱、誘導ブリュアン散乱などの非線形光学効果を用いるもの等が報告されている。これらの中で、Er添加光ファイバを用いる光増幅器(Er添加光ファイバ増幅器)は、光ファイバの最低損失波長域である波長1.5 $\mu$ m帯で20dB以上という高利得が得られることや、利得の偏光依存性がほとんどな

い等の特長を有することから最近盛んに研究開発が行なわれている(例えば、オー・プラス・イー[O plus E], 第113巻(1989年)、75-82ページ、および電子情報通信学会・光量子エレクトロニクス研究会、第OQE88-123巻(1989年)、85-90ページを参照)。この方式では、Erイオンの吸収波長と等しい波長の励起光を信号光とともにEr添加光ファイバに入射させて光増幅を行なう。

(発明が解決しようとする課題)

Er添加光ファイバ増幅器をはじめとする希土類添加光ファイバ増幅器を光通信システムなどに応用する場合、出力される増幅信号光パワーが所定値になるように増幅利得を制御することが、システムを安定に動作させる上で望ましい。これは、最も簡単には、Er添加光ファイバへ入力する励起光パワーを変えることによって行なえる。しかしながら、従来のEr添加光ファイバ増幅器では、20dB程度以上の高利得を得るために励起光パワーを増やした状態では、励起光パワーに対する増幅利得の変化量が小さいという特性がある。このた

起光を前記希土類添加光ファイバにそれぞれ入射させるための光合波手段と、増幅された信号光の一部を検出するための光検出器と、前記光検出器の出力に対応して前記複数の励起光源の少なくともひとつの励起光源の出力を制御するための制御手段とを含むことを特徴とする。

(作用)

希土類添加光ファイバ増幅器では、光励起によって反転分布を形成するが、低励起時には増幅利得は励起光パワーにほぼ比例して増加する。しかし、反転分布量には上限があるので、励起光パワーを増加させるにともなって増幅利得は徐々に飽和し始める。そして、十分に励起した高励起状態になると、さらに励起光パワーを大きくしても増幅利得はほとんど増えなくなる。

本発明は、希土類添加光ファイバにおいて、励起がそれほど高くない時には前述の様に増幅利得が励起光パワーにほぼ比例することに着目し、2本以上の希土類添加光ファイバを縦続接続して用い、片方の光ファイバは十分に励起して高利得を

めに、利得制御において十分なダイナミックレンジが得られないという欠点があった。また、ダイナミックレンジを拡大するには、励起光を大振幅変調しなければならないという問題があった。

本発明の目的は、上記のような従来の希土類添加光ファイバ増幅器の欠点を除去し、従来に比べて利得制御のダイナミックレンジが広く、かつ、簡単に増幅利得を制御できるようにした光ファイバ増幅器を提供することにある。

(課題を解決するための手段)

本発明の光ファイバ増幅方法は、光学的に縦続接続された2本以上の希土類添加光ファイバのそれぞれに励起光を入射し信号光を増幅する光ファイバ増幅方法であって、前記励起光のうちの少なくとも1つは前記希土類添加光ファイバの増幅利得が励起光パワーにほぼ比例する領域の光出力パワーとすることを特徴とする。

本発明の光ファイバ増幅器は、光学的に縦続接続された2本以上の希土類添加光ファイバと、複数の励起光源と、前記励起光源から出力される励

得るために、他方の光ファイバは低励起状態として利得制御のために動作させるものである。この結果、本発明では、従来の比で簡便で、かつ、利得制御のダイナミックレンジが広い希土類添加光ファイバ増幅器を実現できる。

(実施例)

次に、図面を参照して、本発明の利得制御光ファイバ増幅器について詳細に説明する。

第1図は、本発明による光ファイバ増幅器の実施例の構成図である。この実施例では、2本のEr添加光ファイバを縦続接続して用いている。図において、Er添加光ファイバ11, 12は、いずれも内付け化学的気相析出法(MCVD法)によって作製したコア径7 $\mu$ m、長さ20m、Er濃度300ppmのEr添加単一モード光ファイバ、光合分波器21, 22, 23は、波長1.48 $\mu$ m帯の励起光と1.54 $\mu$ m帯の信号光と合波および分波が可能な波長多重用単一モード光ファイバカップラである。この光ファイバカップラは、波長1.54 $\mu$ m帯での損失が0.5dB以下であり、Er添加光ファイバとは損失0.1dB以下でスプライス接続され

ている。また、励起光源31,32は、最大出力として100mWが得られる波長1.48 $\mu$ mのInGaAsP/InPファブリペロ型半導体レーザである。41,42はこれら励起光源を駆動する駆動電源である。さらに、光検出器6は、InGaAsフォトダイオード、光分岐素子5は信号光波長1.54 $\mu$ m帯での分岐比が10対1の単一モード光ファイバカップラである。

本実施例の光ファイバ増幅器では、信号光は、励起光源31から出射された励起光と光ファイバカップラ21によって合波され、Er添加光ファイバ11に入射される。このEr添加光ファイバ中で増幅された信号光は、新たに励起光源32からの励起光と光ファイバカップラ22によって合波され、Er添加光ファイバ12に入力される。そして、この光ファイバを伝搬したあと、光ファイバカップラ23によって励起光と分波されて出力される。さらに、この出力信号光は、その約一割が分岐比10対1の単一モード光ファイバカップラ5によって分けられフォトダイオード6で受光されている。制御回路7は、フォトダイオード6の出力に応じて駆動電源

42の電流を増減させ、InGaAsP/InPファブリペロ型半導体レーザ32から出力される励起光パワーを制御している。

第2図は、この実施例で用いたEr添加光ファイバ12において、励起光パワーを変化させた場合の増幅利得特性を示したものである。ただし、信号光の波長は1.536 $\mu$ mである。他方のEr添加光ファイバ11も同様な特性を有する。この図より、増幅利得は励起光パワー17mW以上で正となり、利得が約10dBとなる22mW程度までは励起入力にほぼ比例して増加することがわかる。この増幅特性から、本実施例では、Er添加光ファイバ12への励起入力の初期値を17mWにすれば、励起入力を約 $\pm 5$ mW変えることによって増幅利得を $\pm 10$ dB変化させることができる。すなわち、20dB程度の広いダイナミックレンジを実現できる。実際の動作では、Er添加光ファイバ11には励起光パワーを約60mW入力し、正味の増幅利得として25dBの値を得た。一方、前述の様にEr添加光ファイバ12には最初は17mWの励起光パワーを入力し、利得制御のために

用いた。したがって、本構成の光ファイバ増幅器では以上の説明から明らかなように、Er添加光ファイバ12への励起入力をわずかに $\pm 5$ mW変えることにより、全体としての増幅利得を25dB $\pm 10$ dBの広い範囲に渡って制御することができる。言い換えれば、信号入力が $\pm 10$ dB程度変化しても、励起入力をわずかに $\pm 5$ mW変えることにより信号出力を一定に制御可能である。

本発明の有効性を検証するために、信号入力が-30dBmの場合に25dBの増幅利得が得られるように設定し、信号入力を-40dBmから-20dBmまで変化させる模擬動作実験を試みた。この結果、いずれの場合も信号出力を-5dBmに保持できることが確認された。これに対して、Er添加光ファイバ12による利得制御部を取除いた場合には、信号入力が-33dBm以下になると、増幅利得を増加させることができず制御できなかった。また、信号入力が-30dBm以上の範囲の制御においても、増幅利得と励起入力が比例していないために、制御回路にあらかじめ励起入力対増幅利得特性を記憶さ

せ、これに応じて駆動電源42の電流を増減させねばならず、複雑な制御が必要であった。

以上、本発明による光ファイバ増幅器について一実施例を用いて説明したが、本発明はこの実施例に限られることなくいくつかの変形が考えられる。

例えば、励起光源は、実施例では波長1.48 $\mu$ mとしたが、波長0.51 $\mu$ m, 0.81 $\mu$ m, 0.98 $\mu$ m帯などのErイオンその他の吸収波長に合致させてもよく、使用するレーザはいかなるレーザでも良い。また、励起光の光合波手段は、ダイクロイックミラーなどを用いてもよく、その性能を有する限りいかなる素子、要素であってもよいことは言うまでもない。さらに、Er添加光ファイバのEr濃度やサイズ、および縦続接続される本数等も本実施例に限定されない。特に、利得制御のためのEr添加光ファイバの本数を増やせば、ダイナミックレンジを広くできる。また、添加物はErに限らずNdやHoなどの他の希土類元素でもよい。

(発明の効果)

以上説明したように、本発明の光ファイバ増幅器では、Er添加光ファイバにおいて励起がそれほど高くない時には増幅利得が励起光パワーにほぼ比例することに着目し、少なくとも2本以上のEr添加光ファイバを縦続接続して用い、片方の光ファイバは十分に励起して高利得を得るために、他方の光ファイバは低励起状態として利得制御のために動作させている。この結果、本発明では、従来に比べて簡便で、かつ、利得制御のダイナミックレンジが広いEr添加光ファイバ増幅器を実現できるという利点がある。

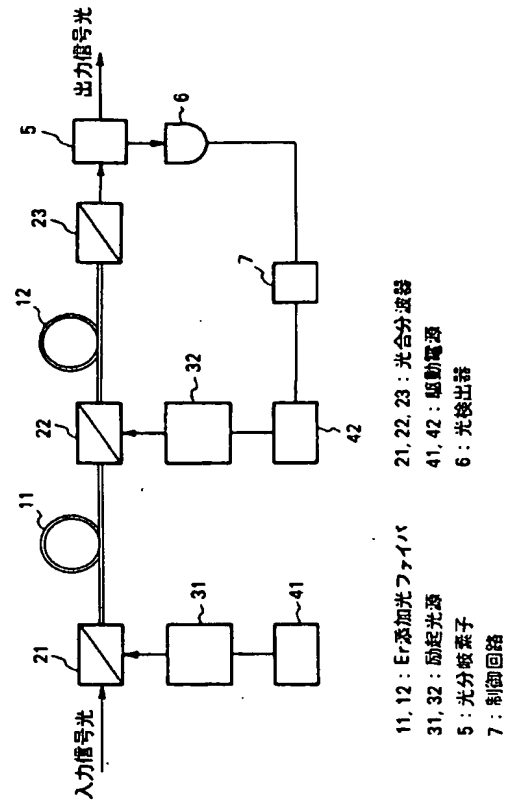
#### 図面の簡単な説明

第1図は、本発明の実施例を示す構成図、第2図は、実施例に用いたEr添加光ファイバで得られる増幅利得対励起入力を示す図である。

図において、11, 12…Er添加光ファイバ、21, 22, 23…光合分波器、31, 32…励起光源、41, 42…駆動電源、5…光分岐素子、6…光検出器、7…制御回路である。

代理人 弁理士 内原 晋

図 1



第 2 図

